

FN- DIALOG(R)File 347:JAPIO|

CZ- (c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv. |

TI- NITRIDE SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

PN- 10-012969 -JP 10012969 A-

PD- January 16, 1998 (19980116)

AU- NAGAHAMA SHINICHI; NAKAMURA SHUJI

PA- NICHIA CHEM IND LTD [424878] (A Japanese Company or Corporation), JP
(Japan)

AN- 08-157812 -JP 96157812-

AN- 08-157812 -JP 96157812-

AD- June 19, 1996 (19960619)

IC- -6- H01S-003/18; H01L-033/00

CL- 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components)

KW- R002 (LASERS); R095 (ELECTRONIC MATERIALS -- Semiconductor Mixed
Crystals); R116 (ELECTRONIC MATERIALS -- Light Emitting Diodes, LED)

AB- PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the threshold current of a nitride
semiconductor laser element, by doping n-type and/or p-type
impurities in its active layer, and further, by forming a plurality
of light emission peaks different from those of the longitudinal mode
in its light emission spectrum.

SOLUTION: On a substrate 1 of a nitride semiconductor laser element,
a buffer layer 2, an n-type contact layer 3, an n-type clad layer 4
and an active layer 5 having a multiple quantum well structure doped
by impurities are formed. The well layer is not subjected to the
growth accompanied by a uniform film thickness to be brought into the
superimposing state of many irregular layers. This is caused by the
reason that the irregularity originates from the concurrent
generations of the large and small regions of its In composition.
InGaN is the material hard to be subjected to the growth of a mixed
crystal, and is the easy material to generate the unhomogeneous
regions of the In composition, the local existences of electrons and
holes, and the many light emission peaks caused by exciton light
emission. When n-type and/or p-type impurities are doped in its
active layer 5, the excitons existed locally in its active layer 5
are localized at further deeper impurity levels, the effect of
exciton light emission is made remarkable to make its threshold
current reducible.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-12969

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月16日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平8-157812

(22) 出願日

平成8年(1996) 6月19日

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

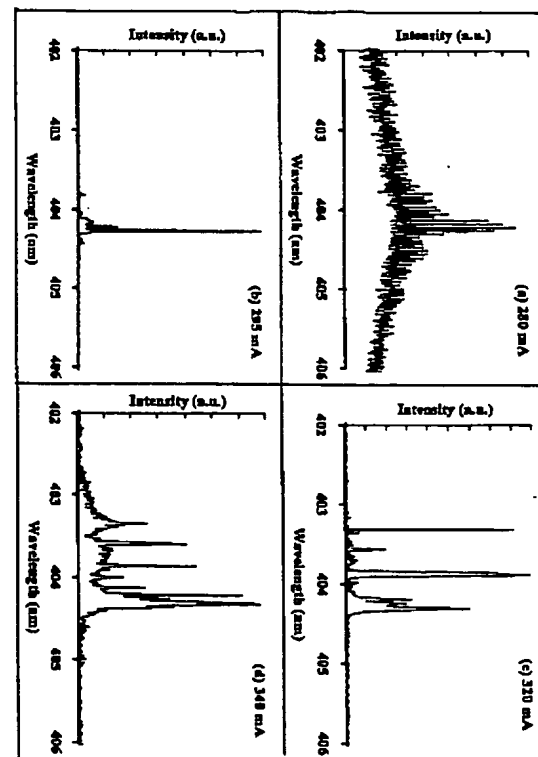
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子

(57) 【要約】

【目的】 窒化物半導体よりなるレーザ素子の発光出力を高め、さらに閾値電流を小さくして、室温での連続発振を目指す。

【構成】 インジウムを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層よりもバンドギャップが大きい窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有する窒化物半導体レーザ素子において、前記活性層中にはn型不純物及び／又はp型不純物がドーピングされており、さらに前記レーザ素子の発光スペクトル中には縦モードの発光ピークとは異なる複数の発光ピークを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 インジウムを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層よりもバンドギャップが大きい窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有する窒化物半導体レーザ素子において、前記活性層中にはn型不純物及び／又はp型不純物がドーピングされており、さらに前記レーザ素子の発光スペクトル中には縦モードの発光ピークとは異なる複数の発光ピークを有することを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記レーザ素子の発光スペクトルの発光ピークが、1 meV～100 meV間隔の範囲内にあることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記活性層にはn型不純物がドーピングされており、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ の濃度でドーピングされていることを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記活性層にはp型不純物がドーピングされており、 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ の濃度でドーピングされていることを特徴とする請求項1乃至3の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) よりなるレーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】活性層にSiがドーピングされたレーザ素子が、特開平7-297494号公報に記載されている。この公報にはGa_{0.9}Nよりなる膜厚の厚い活性層にSiをドーピングして閾値電流を低下させることが開示されている。

【0003】しかし、前記公報のように、単一層の膜厚が例えば0.1 μm以上もある厚膜の活性層を有する素子構造では出力が弱く、レーザ発振させるのは非常に困難である。また活性層を単一膜厚が100オングストローム近辺にある井戸層と障壁層とを積層した多重量子井戸構造の活性層を有するレーザ素子が、例えば特開平8-64909号公報に記載されている。この公報には、井戸層にZnがドーピングされた多重量子井戸構造の活性層を有するレーザ素子が記載されており、井戸層に極微量のZnをドーピングすることにより、価電子帯近くにアクセプタ的な不純物単位を形成して、閾値電流を低下させることが示されている。さらにまた、特開平6-268257号公報には $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる井戸層と、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ よりなる障壁層とを積層した多重量子井戸構造の活性層を有する発光素子が示されており、さらにこの公報には活性層にn型不純物、またはp型不純物をドーピングしても良いことが記載されている。

【0004】このように活性層にn型、p型不純物をドーピングして、バンドギャップ内に不純物準位を形成することにより、発光素子の発光出力を高めたり、レーザ素子の閾値電流を低下させることが知られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、本出願人は最近窒化物半導体により、パルス電流において、室温での410 nmのレーザ発振を発表した（例えば、Jpn.J. Appl.Phys. Vol35 (1996) pp.L74-76）。発表したレーザ素子はいわゆる電極ストライプ型のレーザ素子であり、ノンドープInGa_{0.9}Nが積層された多重量子井戸構造の活性層を有するものである。

【0006】しかしながら、前記窒化物半導体レーザは未だパルス発振でしかなく、しかも閾値電流は1～2 Aもある。窒化物半導体で連続発振させるためには、閾値電流をさらに低下させる必要がある。

【0007】従って、本発明の目的とするところは、窒化物半導体よりなるレーザ素子の発光出力を高め、さらに閾値電流を小さくして、室温での連続発振を目指すことにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明のレーザ素子は、インジウムを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層よりもバンドギャップが大きい窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有する窒化物半導体レーザ素子において、前記活性層中にはn型不純物及び／又はp型不純物がドーピングされており、さらに前記レーザ素子の発光スペクトル中には縦モードの発光ピークとは異なる複数の発光ピークを有することを特徴とする。

【0009】さらに本発明のレーザ素子は、前記レーザ素子の発光スペクトルの発光ピークは、1 meV～100 meV間隔の範囲内にあることを特徴とする。なお、本発明において、必ずしも隣り合った全ての発光ピークの間隔が前記範囲の間にあることを指すものではない。

【0010】また、活性層にはn型不純物がドーピングされており、そのn型不純物が $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ の濃度でドーピングされていることが望ましく、さらに好ましくは、n型不純物は少なくとも井戸層にドーピングされていることが望ましい。

【0011】また、活性層にはp型不純物がドーピングされており、そのp型不純物が $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ の濃度でドーピングされていることが望ましく、さらに好ましくは、p型不純物は少なくとも井戸層にドーピングされていることが望ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。基本的な構造としては、基板1の上に、バッファ層2、n型コンタクト層3、n型クラッド層4、不純物がドーピングされた

多重量子井戸構造を有する活性層 5、第 1 の p 型層 6、第 2 の p 型層 7、第 3 の p 型層 8、p 型コンタクト層 9 が順に積層された電極ストライプ型の構造を有しており、n 型コンタクト層にはストライプ状の負電極、p 型コンタクト層には正電極が設けられている。

【0013】このレーザ素子を各パルス電流を流した際のスペクトルを図 3 に示す。図 3 において (a) は 280 mA (閾値直後)、(b) は 295 mA、(c) は 320 mA、(d) は 340 mA での発光スペクトルを示している。(b)、(c)、(d) は発振時のスペクトルを示している。

【0014】(a) は発振直後のスペクトルを示し、この状態ではおよそ 404.2 nm 付近にある主発光ピークの前後に小さな発光ピークが多数 (ファブリペローモード) 出現してレーザ発振直後の状態であることが分かる。これがいわゆる縦モードのスペクトルである。電流値を上げると (b) に示すように、そのスペクトルがシングルモードとなって 404.2 nm 付近のレーザ発振を示す。次からが本発明の特徴であり、さらに電流を増加させると、(c) に示すように、403.3 nm (3.075 eV)、403.6 nm (3.072 eV)、403.9 nm (3.070 eV)、404.2 nm (3.068 eV)、404.4 nm (3.066 eV) というように、主発光ピークの他に、強度の大きな発光ピークが 1 meV ~ 100 meV の間隔で不規則に出現する。さらに (d) では前記ピークの他に、また新たなピークがはっきりと出現しており、これらのスペクトル間隔は一定ではなく明らかに縦モードのスペクトルと異なる。

【0015】一般に、半導体レーザの場合、レーザ発振すると、レーザ光の縦モードによる小さな発光ピークが主発光ピークの前後に多数出現する。この場合の発光スペクトルは、ほぼ等間隔の発光ピークよりなっている。赤色半導体レーザでは、その発光ピークの間隔はおよそ 0.2 nm である。青色半導体レーザではおよそ 0.05 nm (1 meV) 以下である (但し、青色半導体レーザの縦モードは共振器長が 600 μ m において、本出願人により初めて計測された。)。つまり、図 3 (a)、(b) の状態では通常のレーザ素子の挙動を示している。しかし、本発明のレーザ素子の場合、(c)、(d) に示すように、明らかに従来のレーザ素子の縦モードによる発光ピークとは異なった等間隔でないピークが多数出現している。これは図 3 の電流値による各スペクトルを比較しても分かる。本発明のレーザ素子では、このような発光スペクトルが出現することにより、出力が高くなる。

【0016】なぜ、このようなピークが発生するとレーザ素子の出力が高くなるのかは定かではないが、例えば次のようなことが考えられる。活性層が量子井戸構造の場合、井戸層の膜厚は 100 オングストローム以下、好

ましくは 70 オングストローム以下、最も好ましくは 50 オングストローム以下に調整される。一方、障壁層も 150 オングストローム以下、好ましくは 100 オングストローム以下に調整される。本発明の発光素子では、このような単一膜厚が数十オングストロームの薄膜を積層した場合、井戸層、障壁層共、均一な膜厚で成長しておらず、凹凸のある層が幾重にも重なり合った状態となっている。図 2 は図 1 のレーザ素子において活性層 5 とクラッド層との界面の状態を拡大して示す模式的な断面図である。図 2 に示すように、このような凹凸のある活性層を、活性層よりもバンドギャップの大きいクラッド層で挟むダブルヘテロ構造を実現すると、活性層に注入された電子とホールとが、凹部にも閉じ込められるようになって、クラッド層の縦方向と共に縦横の両方向に閉じ込められる。このため、キャリアが約 10 ~ 70 オングストローム凹凸差がある 3 次元の InGaIn よりなる量子箱、あるいは量子ディスクに閉じ込められたようになって、従来の量子井戸構造とは違った、量子効果出現する。従って、多数の量子単位に基づく発光が室温でも観測されるようになり、発光スペクトルの 1 meV ~ 100 meV の間隔で多数の発光ピークが観測される。また、他の理由としては、三次元の InGaIn よりなる小さな量子箱にキャリアが閉じ込められるので、エキシトン効果が顕著に現れてきて多数の発光ピークが観測される。

【0017】また、このように InGaIn 井戸層に多数の凹凸が発生する理由の一つとして、In 組成の面内不均一が考えられる。即ち、単一井戸層内において、In 組成の大きい領域と、少ない領域とができるために、井戸層表面に多数の凹凸が発生するのである。InGaIn は混晶を成長させにくい材料であり、InN と GaN とが相分離する傾向にある。このため In 組成の不均一な領域ができる。そして、この In 組成の高い領域に電子と正孔とが局在して、エキシトン発光、あるいはバイエキシトン発光して、レーザの出力が向上し、多数のピークができる。特にレーザ素子ではこのバイエキシトンレーザ発振することにより、量子ディスク、量子箱と同等になって多数のピークが出現し、この多数のピークによりレーザ素子の閾値が下がり、出力が向上する。なおエキシトンとは電子と正孔とが弱いクーロン力でくっついてペアになったものである。

【0018】さらに、活性層中に n 型不純物及び/又は p 型不純物をドーピングすることにより、閾値電流を低下させることができる。これらの不純物をドーピングすることにより、活性層の In 組成の多い領域に局在化しているエキシトンが、今度はそれよりもさらに深い不純物の準位に局在化するようになって、エキシトン発光の効果が顕著となることにより、閾値の低下が起きる。

【0019】本発明のレーザ素子の活性層について述べたことを、図 6 のエネルギーバンド図でわかりやすく示

す。図6Aは多重量子井戸構造の活性層のエネルギーバンドを示しており、図6Bは、図6Aの単一井戸層のエネルギーバンドを拡大して示すものである。前記したように、井戸層においてIn組成の面内不均一があるということは、Bに示すように単一のInGaIn井戸層幅にバンドギャップの異なるInGaIn領域が存在する。従って、伝導帯にある電子は一度、In組成の大きいInGaIn領域に落ちて、そこから価電子帯にある正孔と再結合することによりhνのエネルギーを放出する。このことは、電子と正孔とが井戸層幅のIn組成の多い領域に局在化して、局在エキシトンを形成し、レーザの閾値の低下を助ける。閾値が下がり、出力が高くなるのはこの局在エキシトンの効果によるものである。さらに、この井戸層にSi等のn型不純物、Zn等のp型不純物をドーピングすることにより、伝導帯と価電子帯との間にさらに不純物レベルの準位ができる。図6BではSiと、Znとでもってその準位を示している。不純物をドーピングすると不純物レベルのエネルギー準位が形成される。そのため電子はより深い準位へ落ち、正孔はp型不純物のレベルに移動して、そこで電子と正孔とが再結合して、hν'のより小さいエネルギーを放出する。このことは電子と正孔とがさらに局在化することを意味し、この局在したエキシトン効果によりレーザの閾値が下がるのである。多数のピークが出現するのは、この局在エキシトンに加えて、三次元的に閉じ込められた量子箱の効果により多数の量子準位間の発光が出てくるからである。

【0020】n型不純物には、例えばSi、Ge、Sb、Se、Sを挙げることができる。p型不純物には、例えばZn、Cd、Mg、Be、Ca等を挙げることができる。これらの不純物を活性層中、特に好ましくは井戸層中にドーピングすることにより、量子準位間に、不純物レベルの発光を起こさせ、バンド間のエネルギー準位を小さくして、閾値を低下させることができる。なお、n型不純物、p型不純物両方をドーピングしてもよいことは言うまでもない。

【0021】特に好ましくはn型不純物、中でもSi、Geをドーピングすることにより、発光強度を強めると共に、閾値電流を低下させることができる。図4は井戸層にドーピングしたSi濃度と、閾値電流の低下率の割合を示す図である。具体的には平均膜厚300ÅのInGaInよりなる井戸層と、平均膜厚700Åの障壁とを5層積層した多重量子井戸構造の活性層を有するレーザ素子において、前記井戸層中にSiをドーピングした際のレーザ素子の閾値の低下の割合を示しており、図に示す各点は実際のSi濃度を示している。この図に示すようにSiをドーピングすることにより、閾値電流を最大で50%近く低下させることができる。従って、好ましいSi濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ の範囲にあり、さらに好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、最も好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$

$\sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ である。なおこの図はSiについて示したものであるが、他のn型不純物、Ge、Sn等に対しても同様の傾向があることを確認した。

【0022】図5は井戸層にドーピングしたMg濃度と、閾値電流の低下率の割合を示す図である。これも同じく平均膜厚300ÅのInGaInよりなる井戸層と、平均膜厚700Åの障壁とを5層積層した多重量子井戸構造の活性層を有するレーザ素子において、前記井戸層中にMgをドーピングした際のレーザ素子の閾値の低下の割合を示しており、図に示す各点は実際のMg濃度を示している。この図に示すように、Mgをドーピングすることにより、閾値電流を25%近く低下させることができる。好ましいMg濃度は、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ の範囲にあり、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、最も好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ である。なお、この図はMgについて示したものであるが、他のp型不純物、Zn、Cd、Be等に対しても同様の傾向があることを確認した。

【0023】

【実施例】以下、MOVPE法を用いて、図1に示す構造のレーザ素子を得る方法を説明する。図1は本発明のレーザ素子の一構造を示すものであつて、本発明のレーザ素子はこの構造に限定されるものではない。なお本発明において示す $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 等の一般式は、単に窒化物半導体の組成式を示しているに過ぎず、異なる層が同一の式で示されていても、それらの層が同一の組成を示すものでは決してない。

【0024】【実施例1】サファイアのA面を主面とする基板1を用意し、この基板1をMOVPE装置の反応容器内に設置した後、原料ガスにTMG（トリメチルガリウム）と、アンモニアを用い、温度500℃でサファイア基板1の表面にGaNよりなるバッファ層2を200Åの膜厚で成長させる。基板1にはA面の他にC面、R面等の面方位を有するサファイアが使用でき、サファイアその他、スピネル111面（ MgAl_2O_4 ）、SiC、MgO、Si、ZnO、GaN等の単結晶よりなる、公知の基板が用いられる。バッファ層2は基板と窒化物半導体との格子不整合を緩和するために設けられ、通常、GaN、AlN、AlGaIn等が1000Å以下の膜厚で成長されるが、窒化物半導体と格子定数の近い基板、格子整合した基板を用いる場合、成長方法、成長条件等の要因によっては成長されないこともあるので、省略することもできる。但し、サファイア、スピネルのように、窒化物半導体と格子定数が異なる基板を用いる場合、特開平4-297023号公報に記載されるように、200℃以上、900℃以下の温度でバッファ層2を成長させると、次に高温で成長させる窒化物半導体層の結晶性が飛躍的に良くなる。

【0025】続いて温度を1050℃に上げ、原料ガスにTMG、TMA（トリメチルアルミニウム）、アンモニア、ドナー不純物としてSiH₄（シラン）ガスを用いて、SiドープAl_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるn型コンタクト層3を4μmの膜厚で成長させる。

【0026】n型コンタクト層3は光閉じ込め層としても作用する。n型コンタクト層3をAlとGaとを含むn型窒化物半導体、好ましくはn型Al_{1-y}Ga_yN（0<y<1）とすることにより、活性層との屈折率差が大きくなり、光閉じ込め層としてのクラッド層、及び電流を注入するコンタクト層として作用する。さらに、このコンタクト層をAl_{1-y}Ga_yNとすることにより、活性層の発光をn型コンタクト層内で広がりやすくできるので、閾値が低下する。n型コンタクト層3をAl_{1-y}Ga_yNとする場合、基板側のAl混晶比が小さく、活性層側のAl混晶比が大きい構造、即ち組成傾斜構造とすることが望ましい。前記構造とすることにより、結晶性の良いn型コンタクト層が得られるので、結晶性の良いn型コンタクト層の上に積層する窒化物半導体の結晶性も良くなるため、素子全体の結晶性が良くなり、ひいては閾値の低下、素子の信頼性が格段に向上する。また活性層側のAl混晶比が大きいために、活性層との屈折率差も大きくなり光閉じ込め層として有効に作用する。また、このn型コンタクト層3をGa_{0.99}Nとしてもよい。Ga_{0.99}Nの場合、n電極とのオーミック特性については非常に優れている。コンタクト層をGa_{0.99}Nとすると、Ga_{0.99}Nコンタクト層と、活性層との間にAlGa_{0.99}Nよりなる光閉じ込め層を設ける必要がある。このn型コンタクト層3の膜厚は0.1μm以上、5μm以下に調整することが望ましい。0.1μm以下であると、光閉じ込め層として作用しにくく、また、電極を同一面側に設ける場合に、精密なエッチングレートの制御をせねばならないので不利である。一方、5μmよりも厚いと、結晶中にクラックが入りやすくなる傾向にある。

【0027】続いて、温度を1050℃に保持し、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用いて、Siドープn型Ga_{0.99}Nよりなるn型クラッド層4を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0028】このn型クラッド層4はn層側の光ガイド層、および活性層にInGa_{0.99}Nを成長させる際のバッファ層として作用し、n型Ga_{0.99}Nの他、n型InGa_{0.99}Nを成長させることもできる。バッファ層と成長させる場合には0.05μm以下の膜厚で成長させることが望ましい。また、前記のようにコンタクト層2をGa_{0.99}Nで成長させた場合、このn型クラッド層4は、光閉じ込め層として作用させるためにAlGa_{0.99}Nで成長させる必要がある。AlGa_{0.99}N層の場合、膜厚は0.01μm～0.5μmの膜厚で成長させることが望ましい。0.01μmより薄いと光閉じ込め層として作用しにくく、0.5μmよりも厚いと結晶中にクラックが入りやすい傾向にあ

る。

【0029】次に、温度を750℃にして、原料ガスにTMG、TMI（トリメチルインジウム）、アンモニア、不純物ガスとしてシランガスを用いてSiをドープした活性層5を成長させる。活性層5は、まずSiを1×10²⁰/cm³の濃度でドープしたIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次にシランガスを止めて、TMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、ノンドープIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を13回繰り返し、最後に井戸層を成長させ総膜厚0.1μmの多重量子井戸構造よりなる活性層5を成長させる。

【0030】活性層5は、少なくとも井戸層がInを含む窒化物半導体を含む多重量子井戸構造とする。多重量子井戸構造とは、井戸層と障壁層とを積層したものであり、本発明の場合、井戸層がInを含む窒化物半導体で構成されていれば、障壁層は井戸層よりもバンドギャップが大きければ特にInを含む必要はない。好ましくは、In_xGa_{1-x}N（0<x≤1）よりなる井戸層と、In_{x'}Ga_{1-x'}N（0≤x'<1、x'<x）よりなる障壁層とを積層した構造とする。三元混晶のInGa_{0.99}Nは四元混晶のものに比べて結晶性が良い物が得られるので、発光出力が向上する。また障壁層は井戸層よりもバンドギャップエネルギーを大きくして、井戸+障壁+井戸+・・・+障壁+井戸層（その逆でもよい。）となるように積層して多重量子井戸構造を構成する。井戸層の膜厚は70オングストローム以下、さらに望ましくは50オングストローム以下に調整することが好ましい。また障壁層の厚さも150オングストローム以下、さらに望ましくは100オングストローム以下の厚さに調整することが望ましい。井戸層が70オングストロームよりも厚いか、または障壁層が150オングストロームよりも厚いと、レーザ素子の出力が低下する傾向にある。このように活性層をInGa_{0.99}Nを積層したMQWとすると、量子単位間発光で約365nm～660nm間での高出力なLDを実現することができる。特に好ましい態様として、両方の層をInGa_{0.99}Nとすると、InGa_{0.99}Nは、Ga_{0.99}N、AlGa_{0.99}N結晶に比べて結晶が柔らかい。そのため第1のp型層であるAlGa_{0.99}Nの厚さを厚くできるのでレーザ発振が実現できる。またn型不純物は本実施例のように井戸層にドープしてもよいし、また障壁層にドープしてもよく、さらに井戸層、障壁層両方にドープしてもよい。

【0031】活性層5の膜厚は、n型コンタクト層3をAl_{1-y}Ga_yNとした場合、200オングストローム以上、さらに好ましくは300オングストローム以上の膜厚で成長させることが望ましい。なぜなら、MQWよりなる活性層を厚く成長させることにより、活性層の最外層近辺が光ガイド層として作用する。つまり、n型コン

タクト層 3 と第 3 の p 型層 8 とが光閉じ込め層として作用し、活性層の最外層近傍が光ガイド層として作用する。活性層の膜厚の上限は特に限定するものではないが、通常は $0.5 \mu\text{m}$ 以下に調整することが望ましい。

【0032】次に、原料ガスに TMG、TMA、アンモニア、p 型不純物として Cp2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用いて、Mg ドープ p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第 1 の p 型層 6 を 100 \AA の膜厚で成長させる。

【0033】第 1 の p 型層 6 は Al を含む p 型の窒化物半導体で構成し、好ましくは三元混晶若しくは二元混晶の $\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) を成長させることが望ましい。さらに、この AlGaN は後に述べる第 3 の p 型層 8 よりも膜厚を薄く形成することが望ましく、好ましくは 10 \AA 以上、 $0.5 \mu\text{m}$ 以下に調整する。この第 1 の p 型層 6 を活性層 5 に接して形成することにより、素子の出力が格段に向上する。これは、第 1 の p 型層 6 成長時に、活性層の InGaN が分解するのを抑える作用があるためと推察されるが、詳しいことは不明である。第 1 の p 型層 6 は好ましく 10 \AA 20 $\sim 0.5 \mu\text{m}$ 以下の膜厚で成長させることが望ましいが、省略することもできる。

【0034】次に、温度を 1050°C にし、TMG、アンモニア、 Cp2Mg を用いて、Mg ドープ p 型 GaN よりなる第 2 の p 型層 7 を 500 \AA の膜厚で成長させる。

【0035】この第 2 の p 型層 7 は p 層側の光ガイド層若しくはバッファ層として作用し、好ましくは二元混晶または三元混晶の $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 \leq Y < 1$) を成長させる。第 2 の p 型層 7 は、活性層の膜厚が薄い場合に成長させると光ガイド層として作用する。また第 1 の p 型層 6 が AlGaN 等よりなるので、この層がバッファ層のような作用をして、次に成長させる第 3 の p 型層 8 をクラック無く結晶性良く成長できる。つまり、 AlGaN の上に直接バンドギャップが大きい AlGaN を積層すると、後から成長させたバンドギャップが大きい AlGaN にクラックが入りやすくなるので、この第 2 の p 型層 7 を介することによりクラックを入りにくくしている。第 2 の p 型層 7 は、通常 100 \AA 30 $\sim 0.5 \mu\text{m}$ 程度の膜厚で成長させることが望ましいが、省略することもできる。

【0036】次に、温度を 1050°C に上げ、原料ガスに TMG、TMA、アンモニア、アクセプター不純物として Cp2Mg を用いて、Mg ドープ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる第 3 の p 型層 8 を $0.3 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0037】第 3 の p 型層 8 は、Al を含む窒化物半導体で構成し、好ましくは二元混晶または三元混晶の $\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) を成長させる。第 3 の p 型層 8 は、光閉じ込め層として作用し、 $0.1 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$ 50

の膜厚で成長させることが望ましく、 AlGaN のような Al を含む p 型窒化物半導体とすることにより、好ましく光閉じ込め層として作用する。この第 3 の p 型層も活性層 5 を In を含む窒化物半導体としているために、成長可能となる。つまり、 InGaN を含む活性層が緩衝層のような作用をするために、 AlGaN を厚膜で成長させやすくなる。逆に Al を含む窒化物半導体層の上に、直接光閉じ込め層となるような厚膜で、Al を含む窒化物半導体を成長させることは難しい傾向にある。

【0038】続いて、 1050°C で TMG、アンモニア、 Cp2Mg を用い、Mg ドープ p 型 GaN よりなる p 型コンタクト層 9 を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0039】p 型コンタクト層 9 は電流を注入する層であり、p 型の窒化物半導体 ($\text{In}_X\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-X-Y}\text{N}$, $0 \leq X$, $0 \leq Y$, $X+Y \leq 1$) で構成することができ、特に InGaN 、 GaN 、その中でも Mg をドープした p 型 GaN とすると、最もキャリア濃度の高い p 型層が得られて、正電極と良好なオーミック接触が得られ、しきい値電流を低下させることができる。正電極の材料としては Ni、Pd、Ir、Rh、Pt、Ag、Au 等の比較的仕事関数の高い金属又は合金がオーミックが得られやすい。

【0040】以上のようにして窒化物半導体を積層したウェーハを反応容器から取り出し、図 1 に示すように最上層の p 型コンタクト層 9 より選択エッチングを行い、n 型コンタクト層 3 の表面を露出させ、露出した n 型コンタクト層 3 と、p 型コンタクト層 9 との表面にそれぞれストライプ状の電極を形成した後、サファイア基板の R 面からウェーハを劈開して、バー状にし、さらにストライプ状の電極に直交する方向にレーザの共振面を形成し、共振器長は $600 \mu\text{m}$ とする。後は、常法に従い、共振面に誘電体多層膜よりなる反射鏡を形成した後、ストライプ状の電極に平行な位置でウェーハを分割してレーザチップとする。このレーザチップをヒートシンクに設置し、順方向電流 320 mA のパルス発振を試みたところ、図 3 (c) に示すような不規則な位置に発光ピークを有するレーザ発振を示し、活性層に不純物をドープしていないレーザ素子と比較して、閾値電流は 50% 低下し、出力は 30% 向上した。

【0041】【実施例 2】実施例 1 の活性層を成長させる工程において、不純物ガスとしてシランガスの代わりにジエチルジンクを用いて、 Zn を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の濃度でドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層を 25 \AA 、ノンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる障壁層を 50 \AA の膜厚で成長させて、同じく総膜厚 $0.1 \mu\text{m}$ の多重量子井戸構造よりなる活性層 5 を成長させる他は、同様にして、共振器長 $600 \mu\text{m}$ のレーザ素子を得たところ、活性層に不純物をドープしていないレーザ素子と比較して、閾値電流は 25% 低下し、出力は 10% 向上した。

【0042】【実施例3】実施例1の活性層を成長させる工程において、不純物ガスとしてシランガス、およびジエチルジンをを用いて、Siを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、及びZnを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の濃度でドーピングしたIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層を25オングストローム、ノンドーピングIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させて、同じく総膜厚0.1 μm の多重量子井戸構造よりなる活性層5を成長させる他は、同様にして、共振器長600 μm のレーザ素子を得たところ、活性層に不純物をドーピングしていないレーザ素子に比較して、閾値電流は60%低下し、出力は35%向上した。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のレーザ素子はその発光スペクトルに、従来のレーザ素子の縦モードの発光スペクトルとは全く異なる発光ピークを有することにより発光出力が向上する。さらに、活性層中にn型不純物、p型不純物がドーピングされていることにより、発光出力を低下させることなく閾値を低下させることができる。このため、発光出力が高く閾値の低いレーザ素子を実現することができる。また、本発明のレーザ素子を埋め込みヘテロ型、屈折率導波型、実効屈折率導波型等の横モードの安定化を図るレーザ素子とすることにより、さらに閾値電流が下がる可能性がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図。

【図2】 図1のレーザ素子の活性層付近を拡大して示す模式断面図。

【図3】 本発明のレーザ素子にパルス電流を流した際の発光スペクトルを各電流値で比較して示す図。

【図4】 活性層にドーピングしたSi濃度と、レーザ素子の閾値電流の低下率との関係を示す図。

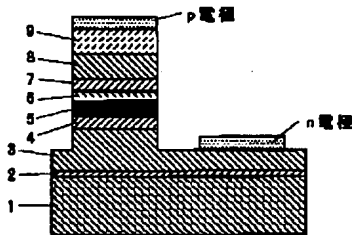
【図5】 活性層にドーピングしたMg濃度と、レーザ素子の閾値電流の低下率との関係を示す図。

【図6】 本発明のレーザ素子の井戸層のエネルギーバンド図。

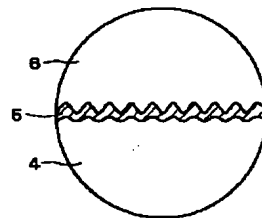
【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・n型コンタクト層
- 4・・・n型クラッド層
- 5・・・活性層
- 6・・・第1のp型層
- 7・・・第2のp型層
- 8・・・第3のp型層
- 9・・・p型コンタクト層

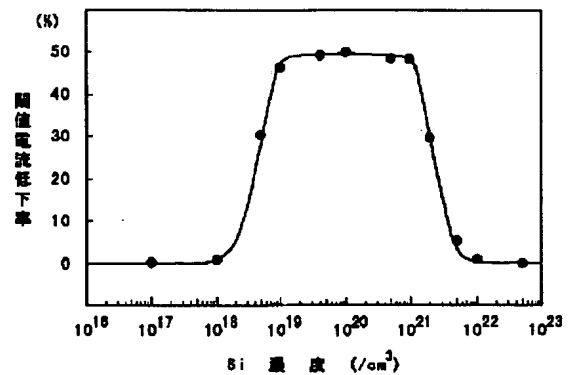
【図1】



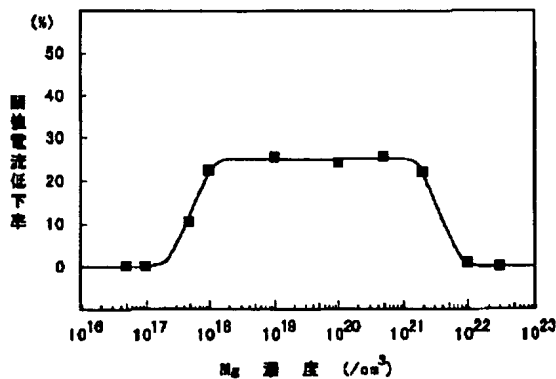
【図2】



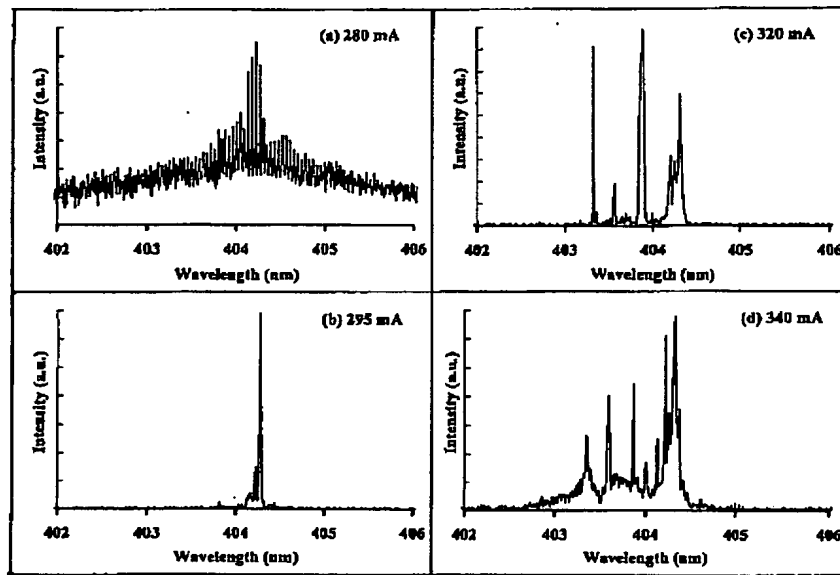
【図4】



【図5】



【図3】



【図6】

